



L'outil d'aide à la décision GeDSeT : évaluer les impacts et bénéfices de différentes options de gestion des sédiments

Bruno Lemièrre, Pascale Michel, Jérôme Jacob, Laurence Haouche, Agnès Laboudigue

► To cite this version:

Bruno Lemièrre, Pascale Michel, Jérôme Jacob, Laurence Haouche, Agnès Laboudigue. L'outil d'aide à la décision GeDSeT : évaluer les impacts et bénéfices de différentes options de gestion des sédiments. *Recyclage et valorisation*, 2012, 36, pp.52-58. hal-00691493

HAL Id: hal-00691493

<https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-00691493>

Submitted on 26 Apr 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'outil d'aide à la décision GeDSeT : évaluer les impacts et bénéfices de différentes options de gestion des sédiments

Bruno LEMIERE, Pascale MICHEL, Jérôme JACOB, BRGM, Environnement et Procédés
Laurence HAOUCHE, ISSeP
Agnès LABOUDIGUE, Ecole des Mines de Douai¹.

Le projet GeDSeT (Interreg IV France-Wallonie-Flandres, 2008-2013) est une contribution à une gestion globale durable des sédiments des voies d'eau ; il vise le développement du transport régional fluvial et des bonnes pratiques pour la protection des ressources en eau et de l'espace urbain.

Le présent article est partie intégrante de ce projet, développé dans le cadre du GIS 3SP, et bénéficie largement des collaborations entre les partenaires du projet (BRGM, Ecole des Mines de Douai, ISSeP, CTP et INERIS).

1. OBJECTIF

Les sédiments des voies d'eau sont un enjeu environnemental majeur en Europe, et particulièrement dans la région transfrontalière Belgique Wallonie – Nord de la France pour plusieurs raisons, toutes liées à la densité de l'habitat, du tissu industriel passé et présent, et du réseau de voies d'eau. L'accumulation des sédiments affecte non seulement la navigabilité et les crues, mais aussi la qualité des ressources en eau, en raison de leur niveau de pollution. Le curage régulier des sédiments permet le développement d'un transport régional fluvial éco-favorable, mais génère d'importants volumes de déchets potentiels. La réutilisation des sédiments pour la construction ou les infrastructures est donc un enjeu clé, en combinant réduction des déchets et des besoins en ressources naturelles pour le même usage. Afin de prendre en compte la problématique des sédiments fluviaux dans sa globalité, le projet GeDSeT capitalise l'état de l'art sur les critères pertinents pour une gestion durable, qu'il incorpore dans un outil d'aide à la décision applicable au contexte transfrontalier.

L'objectif de l'outil d'aide à la décision GeDSeT est de fournir des éléments chiffrés pour alimenter les réflexions autour des choix en termes de modes de gestion des sédiments des voies d'eau.

La conception générale de l'outil au travers des choix techniques et méthodologiques a été présentée dans un précédent article (Michel et al., 2011). Le développement de l'outil à partir de ces choix et des scénarios discutés avec les professionnels et gestionnaires fait l'objet du présent article.

2 CHOIX TECHNIQUES ET MÉTHODOLOGIQUES

L'outil GeDSeT propose un environnement pour tester des scénarios (what-if tools, Golfarelli et al., 2006), mais ne préconise pas une solution optimisée, la hiérarchisation des impacts restant du ressort des décideurs. Il se distingue ainsi des outils de préconisation d'une solution unique, dans la mesure où aucune agglomération des différents critères n'est envisagée. Il n'y a pas d'établissement de note unique pour hiérarchiser les scénarios entre eux, ni sélectionner un mode de gestion. L'outil permet d'envisager les conséquences et impacts potentiels de toutes natures, dans une approche la plus globale possible, des différentes options techniques.

Outil basé sur une analyse multicritères

L'outil est basé sur une analyse multicritères (Linkov et al., 2006 ; Alvarez-Guerra et al., 2009 ; Steele, 2009), et s'appuie sur des bases de données thématiques développées lors des échanges avec les acteurs du domaine des sédiments (opérateurs, industriels, autorités territoriales).

Ces échanges permettent d'identifier des questionnements, que l'outil formalise en scénarios (paragraphe suivant), et dont la résolution implique d'affiner ces données, soit auprès des acteurs, soit à partir des actions de recherche menées dans le cadre du projet (Laboudigue et al., 2011). Les données rassemblées peuvent aussi bien être des résultats scientifiques et techniques, des données économiques, statistiques et sociales, que des jugements d'expert.

¹

Adresse actuelle : Ecole des Mines de Paris.

Cet outil fait appel à des modèles numériques pour ses principaux composants, en se basant sur les fonctions d'un tableur (Power & Sharda, 2007). Il se structure progressivement autour des scénarios discutés et des données rassemblées à cette fin.

Il apparaît déjà que la logique de l'outil est très générale, et sous-tendue par les objectifs des curages et les possibilités de réemploi des sédiments. Toutefois, les données nécessaires à l'outil vont être pour la plupart très localisées, ou déterminées par les conditions locales (nature des sédiments, données socioéconomiques et industrielles,...).

La transposition de l'outil GeDSeT à une autre région ou un autre contexte est donc possible, mais impliquera le développement de scénarios spécifiques, la collecte de données locales pertinentes et la mise au point de nouvelles bases de données.

Scénarios de gestion développés à partir d'enquêtes de terrain

Lors du développement de l'outil, les scénarios destinés à évaluer des hypothèses génératrices d'activité économique tout en répondant aux critères du développement durable ont été étudiés attentivement : curage sélectif, traitement des sédiments pour valorisation, emploi des sites de dépôt pour cultures énergétiques...

Ainsi, lors de la collecte des informations, certaines options ont paru particulièrement intéressantes,

- soit qu'elles offraient une alternative plus durable à la solution habituellement mise en œuvre,
- soit qu'elles correspondaient à l'émergence de nouvelles technologies et permettaient ainsi le développement d'un nouveau secteur industriel,
- soit qu'elles permettaient de mieux résoudre les questions d'occupation des sols, ou de transport des matériaux dragués.

Ces options ont constitué la base de scénarios développés au sein même de l'outil, et dont la mise au point implique souvent de préciser et compléter les bases de données thématiques.

Indicateurs de résultats et enjeux du développement durable

L'outil permet de tenir compte à la fois des facteurs clefs pouvant influencer les décisions de curage (restauration de navigabilité, risque d'inondation), des options techniques classiques et nouvelles (curage sélectif, traitement sur site ou sur plateforme), des coûts directs (travaux) et indirects (destination des sédiments dragués) mais aussi des impacts positifs (développement d'activités économiques, cadre de vie), et de l'acceptabilité sociale des installations envisagées. L'ensemble de ces critères figure parmi les enjeux du développement durable.

Les activités de curage sélectif et de traitement créent un potentiel de ressources secondaires à partir des sédiments curés. L'évaluation de ces activités (économique, technologique, effets secondaires de l'utilisation des matériaux récupérés) permet d'établir un bilan global des coûts et bénéfices, notamment environnementaux et sociétaux, non limité à la seule opération de curage. Les échanges avec les industriels et PME impliqués dans le développement de nouvelles filières de réemploi de sédiments permettent de préciser les impacts sociétaux et sur l'emploi.

La même approche sera appliquée à l'utilisation des sites de dépôt de sédiments pour des cultures énergétiques. Les critères liés à l'usage des terrains viennent compléter, au titre du développement durable territorial, les critères déjà avancés : une réduction des besoins en sites de dépôt libère des superficies pour de meilleurs usages.

Chaque option technique pour la gestion des sédiments est évaluée selon ses effets sur les enjeux ainsi identifiés (Figure 1), donnant six indicateurs de résultats (quatre indicateurs environnementaux et deux indicateurs sociétaux) pour l'évaluation d'une option :

- ressources en énergie fossile,
- effets sur le climat,
- qualité des écosystèmes
- santé;

ces quatre indicateurs étant quantifiés selon les méthodes de caractérisation des impacts utilisés en analyse de cycle de vie, et

- cadre de vie des riverains et acceptabilité sociale,
- développement économique des régions concernées

qui sont évalués de manière plus qualitative.

Les options techniques sont décomposées en termes de filières et d'étapes, du curage jusqu'à la destination finale des sédiments. Les effets associés à une filière de gestion des sédiments sont

décomposés par l'outil à chaque étape, puis calculés par addition des étapes (dragage + transport + mise en dépôt par exemple).

Les résultats sont présentés dans l'interface utilisateur de l'outil (rendu des résultats de l'évaluation), regroupés sous la forme d'une toile d'araignée (Figure 2), représentation classique des analyses multicritères. Pour cela, ils sont normalisés (transformation en %)².

Limites du système étudié, entre la section de voie d'eau à curer et le territoire

La notion de limites considérée ici a un sens systémique : il s'agit du périmètre, spatial et socio-économique, dans lequel sont évalués les impacts positifs comme négatifs (system boundaries, Finnveden et al., 2007).

Les scénarios de gestion des sédiments sont habituellement évalués à l'intérieur du périmètre de chaque opération de curage, avec leur coût financier comme critère prédominant. Les outils d'aide à la décision existants visent souvent à optimiser ces choix par une comparaison des techniques et des impacts directs (LIFE, 2002).

L'outil GeDSeT choisit délibérément d'élargir les limites du système étudié afin de trouver hors du périmètre initial les bénéfices permettant d'équilibrer les coûts des options les plus durables. Cette approche est classique dans le management des déchets (Villeneuve et al., 2004 ; Finnveden et al., 2007, Gentil et al., 2010, Eriksson & Bisailon, 2011).

Ainsi, on prend en compte les effets bénéfiques du curage sur la voie d'eau (navigabilité, cadre de vie, qualité de l'eau, réduction potentielle du transport routier,...), sur l'utilisation des sols (réduction ou meilleure utilisation des surfaces dévolues aux dépôts, réduction des extractions de matériaux), sur les énergies fossiles et le climat (réduction du transport routier, création de biomasse énergétique), sur l'emploi ainsi que d'autres bénéfices indirects.

La quantification de ces effets est effectuée à l'aide des bases de données utilisées en ACV (analyse de cycle de vie) telles que Ecoinvent (en minuscule sur leur site).

Mise en pratique de ces principes et développement de l'outil

Au sein de l'outil, les différents indicateurs présentés ci-dessus sont utilisés pour comparer les effets directs et indirects des principaux choix pouvant s'offrir aux décideurs (opérateurs, industriels, collectivités et administrations). Ces choix sont formalisés au sein de scénarios. Les nœuds de décision constituent les nœuds d'une arborescence logique sur laquelle est basé l'organigramme de l'outil. Le développement de l'outil s'effectue donc en décrivant logiquement les scénarios discutés avec les différents intervenants, et en y rattachant les données présentes dans les bases de données. Cette démarche restera applicable après le terme du projet, puisqu'il sera toujours possible d'enrichir l'outil avec de nouveaux scénarios. Ceci nécessite seulement de compléter et mettre à jour les bases de données, et d'établir les liens fonctionnels correspondants.

A chaque étape de la création de scénario, l'outil propose par défaut les valeurs présentes dans les bases de données. Elles apparaissent en éléments pré-remplis dans les écrans de dialogue (Figure 3). Ceci permet à l'utilisateur de les remplacer par ses propres données lorsqu'elles sont plus précises ou plus pertinentes, et de faire fonctionner l'outil avec des données générales là où il ne dispose pas d'informations.

L'évaluation de la valeur de chaque indicateur de durabilité (environnementaux et socio-économiques) est effectuée à partir des données calculées à chaque étape, et consolidée en fin de scénario en fonction des choix et du devenir des sédiments. Elle se fait par comparaison avec un scénario de référence, qui par défaut est « on ne fait rien ».

La quantification des effets sur l'environnement suit trois phases, dont la mise en œuvre est détaillée par Michel et al. (2011). La méthode suivie pour l'évaluation qualitative des impacts sur le cadre de vie et l'acceptabilité sociale est décrite dans ce même article.

Au niveau actuel de développement de l'outil, il n'est pas envisageable de quantifier ou monétariser les impacts sur le développement économique régional. Ces impacts sont évalués par jugement d'expert, et les paramètres pris en compte peuvent être ajustés par un utilisateur expérimenté.

²

Une méthode consiste à donner la valeur 0 (min) à l'observation considérée comme la plus mauvaise et 1 (ou 10 ou 100) à celle qui correspond au meilleur score (max). Toutes les valeurs intermédiaires sont alors calculées selon la formule suivante : $Y = X - \text{Min}/(\text{Max} - \text{Min})$ afin de rester dans les limites d'une échelle allant de 0 à 1 (ou 10, 100...) (Boulanger, 2009).

L'évaluation économique des options retenues s'effectue à partir des données industrielles figurant dans la base de données, qui représentent des valeurs usuelles communiquées par les industriels. Ces données doivent donc toujours être ajustées par l'utilisateur pour chaque cas d'étude, afin que l'évaluation soit significative ; en l'absence de données localement applicables, les données générales de la base permettent une première approximation. Certaines données confidentielles nous ont été communiquées par des industriels : elles n'apparaissent pas en clair dans l'outil, mais ont servi à caler les valeurs minimales, maximales ou moyennes accessibles à l'utilisateur.

Un indicateur évaluant la « prise de risque » associée à chaque choix a été établi en combinant des indices de maturité des techniques (basés sur des travaux du CTP), de pérennité des solutions et de responsabilité juridique à long terme³. La combinaison des prises de risque associées à chaque choix ou étape représente la « fiabilité » du mode de gestion étudié.

3 APPLICATIONS ET SCENARIOS DEVELOPPES

Scénarios pour l'étape de curage

Le curage d'une section de voie d'eau s'effectue actuellement selon deux modèles :

- curage global, par différents moyens mécaniques dont le plus courant est une pelle sur barge, jusqu'à rétablissement d'un gabarit donné, sans séparation des sédiments collectés (Figure 5). Ce modèle ne nécessite aucun géoréférencement, et le niveau de pollution des sédiments est estimé à partir d'analyses statistiquement représentatives, en vue de prévoir leur gestion ultérieure (VNF, 2008) ;
- curage ponctuel, par définition de volumes précis à extraire. Ce modèle, actuellement en vigueur en région wallonne, permet de réduire les volumes à gérer, et donc les budgets nécessaires. Il nécessite un repérage géographique précis (GPS) lors de l'échantillonnage et des travaux. Il est précisé dans le cahier spécial des charges pour le marché de dragage, à partir de reconnaissances bathymétriques et de la qualité des sédiments, effectuées préalablement par l'administration.

Le développement d'équipements de curage de haute précision permet d'envisager une phase de curage sélectif des volumes les plus contaminés, si le niveau de pollution du canal a été cartographié avec précision, avant d'extraire ensuite en bloc le plus gros des sédiments, selon les techniques habituelles. En effet, il a été démontré (Alary et al., 2011) que le plus souvent, la pollution se présente sous forme de « points chauds » localisés, d'échelle hectométrique, le reste de la section de voie d'eau subissant une pollution diffuse de niveau très inférieur.

L'intérêt du curage sélectif est de réduire significativement le niveau moyen de pollution de la plus grosse part des sédiments à gérer, en extrayant un petit volume de sédiments très pollués à éliminer. Dans les cas favorables, cela permet de rendre valorisables les sédiments extraits lors de la deuxième phase de curage, ou de rendre leur traitement plus efficace.

Ce modèle de curage en deux phases est nécessairement plus coûteux qu'un curage en une seule phase : il ne peut donc pas être retenu si le périmètre de décision se limite au seul marché de travaux. Par contre, la prise en compte d'une gestion plus économique (moindre volume, moindre surface de dépôt) et plus durable (moindres émissions, davantage d'activité économique, etc) des sédiments extraits peut inverser la décision, si l'ensemble des impacts est quantifié sur un périmètre régional.

Ce scénario comparatif est actuellement développé dans l'outil GeDSeT (Figure 4).

Scénarios liés au mode de traitement

Le traitement des sédiments afin de réduire leur niveau de pollution a fait l'objet de nombreux travaux, à l'instar de la dépollution des sols excavés. Des installations industrielles, en général accessibles par voie d'eau, ont été créées ou sont en cours de développement. Plus récemment, des installations mobiles de traitement, sur embarcation, ont été développées.

On aboutit ainsi à des scénarios modulaires :

- procède-t-on à une déshydratation des sédiments curés sur barge, afin de minimiser les volumes à gérer, et permettre un éventuel réemploi sans rupture de charge si un usage est possible le long de la même voie d'eau ou à proximité ?

- peut-on orienter sélectivement des lots de sédiment vers une filière de traitement optimisée si l'on dispose de données de caractérisation suffisantes ?
- peut-on acheminer des sédiments très pollués par voie d'eau au plus près d'un centre d'enfouissement ?

Les effets de ces différentes options ne sont pas négligeables, tant au plan économique qu'en impact environnemental, emploi de combustibles fossiles et émissions.

Scénarios liés aux voies de valorisation

Dans l'état actuel des réglementations wallonne et française, la valorisation des sédiments se heurte à des barrières réglementaires difficilement surmontables. Il faut espérer que l'évolution de ces réglementations se fera dans un sens plus favorable au développement durable (réemploi) et pas seulement de protection des milieux.

La principale voie de valorisation des sédiments peu pollués est, et devrait rester longtemps, celle de matériaux banalisables sans valeur ajoutée (recouvrement, remblai, seuls ou en mélange avec des matériaux de déconstruction, etc). La valorisation de sédiments en matière première pour des produits évolués (briques, ciments) est bien entendu possible mais ne concerne à ce jour que des volumes réduits.

La prise en compte du lieu de mise à disposition des sédiments, de leur transport par voie d'eau, et l'élimination d'opérations de chargement/déchargement⁴ peut améliorer la faisabilité économique d'un réemploi.

L'identification précoce d'utilisateurs potentiels de sédiments (grands travaux, couvertures de décharges, réhabilitation de sites, buttes paysagères) à proximité d'un chantier de curage permet de réduire les besoins en sites de dépôt (coût, emprise foncière, acceptabilité).

Ce type de scénario sera développé dans l'outil GeDSeT en 2012.

Scénarios liés à l'utilisation des sites de dépôt

Les sites de dépôt, qu'ils soient temporaires (Belgique) ou permanents (France), présentent, outre les inconvénients déjà mentionnés (coût, emprise foncière, acceptabilité), le problème de leur protection et de leurs utilisations possibles.

A l'heure actuelle, les usages connus impliquent d'en restreindre l'accès au public. La facilité de végétalisation les désigne alors comme espaces verts paysagers non accessibles.

Une alternative, identifiée lors des échanges avec les parties prenantes, est de les utiliser pour des cultures énergétiques industrielles, par exemple des saules à rotation rapide.

Les enjeux de ces stratégies d'utilisation seront évalués dans l'outil GeDSeT en 2012, sur la base des données disponibles, et pourront être affinés au-delà dans le cadre de futurs projets.

4 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La réalisation d'un outil non hiérarchisé d'aide à la décision, sur la base d'une analyse multicritères similaire à celle de l'évaluation environnementale, apparaît déjà réalisable et applicable à la gestion des sédiments de curage. Il répond à un besoin précis : associer à un même outil d'évaluation les différentes parties prenantes de cette gestion (opérateurs, industriels, collectivités et administrations).

Le développement de cet outil a été entrepris, et devrait aboutir en 2012 à un prototype fonctionnel permettant aux parties prenantes de tester des hypothèses et d'envisager des scénarios alternatifs de gestion au-delà du cadre habituel des marchés de travaux. Ces scénarios permettront une meilleure prise en compte des bénéfices socio-économiques et environnementaux constatés hors des limites du système initial.

⁴ Par exemple, le modèle wallon des centres de regroupement prévoit une déshydratation en andains et une maturation des sédiments peu pollués, en vue de permettre leur réemploi ultérieur. Ceci a toutefois l'inconvénient de nécessiter deux opérations de chargement/déchargement, d'un coût non négligeable.

Une grande attention a porté sur la comparaison transfrontalière de situations et méthodologies spécifiques, héritées d'une histoire différente quant à la voie d'eau et la gestion des sédiments. L'outil a aussi pour objectif d'harmoniser les approches des opérateurs, des acteurs des secteurs des travaux et du BTP et des collectivités territoriales, et ainsi de participer à l'émergence d'un secteur économique transfrontalier.

5 REMERCIEMENTS

Le projet GeDSeT (Ecole des Mines de Douai, ISSeP, CTP, BRGM et INERIS) remercie ses financeurs et partenaires actifs : le FEDER (Programme INTERREG IV France-Wallonie-Flandres), le service public de Wallonie, à travers ses directions opérationnelles DGO2 (mobilité et voies hydrauliques) et DGO3 (agriculture, ressources naturelles et environnement), le Ministère français en charge de la Recherche, les Voies Navigables de France, le Conseil Régional Nord Pas de Calais et l'ADEME.

Nous remercions également les nombreux interlocuteurs (opérateurs, industriels, collectivités et administrations) qui nous ont consacré de leur temps, présenté leurs activités et partagé leurs données.

6 RÉFÉRENCES

Alary, C., Lemièrre, B., Haouche-Belkessam, L. - Granulométrie et contamination comparées des sédiments des voies navigables en Wallonie et nord de la France, enjeux pour la valorisation. Mines et Carrières, 181, p. 25-33.

Alvarez-Guerra, M., Viguri J.R., Voulvoulis N. (2009) - A multicriteria-based methodology for site prioritisation in sediment management, *Environment International* 35 (2009) 920–930

Boulanger P.-M. (2009) - Les indicateurs de développement durable : un défi scientifique, un enjeu démocratique, *L'Encyclopédie du Développement Durable*, Editions des Récollets N° 78 - Janvier 2009

Eriksson, O., Bisailon, M. (2011) - Multiple system modelling of waste management. *Waste Management* 31, 12, 2620-2630.

Finnveden, G., Björklund, A., Ekvall, T., & Moberg, Å. (2007) - Environmental and economic assessment methods for waste management decision-support: possibilities and limitations.

Gentil, E.C., Damgaard, A., Hauschild, M., Finnveden, G., Eriksson, O., Thorneøe, S., Kaplan, P.O., Barlaz, M., Muller, O., Matsui, Y., Li, R., & Christensen, T.H. (2010) - Models for waste life cycle assessment: Review of technical assumptions. *Waste Management* 30, 12, 2636-2648.

Golfarelli M., Rizzi, S., & Proli, A. (2006) - Designing What-if Analysis: Towards a Methodology. DOLAP'06, November 10, 2006, Arlington, Virginia, USA.

Laboudigue, A., Michel, P., Alary, C., Haouche, L., Lemièrre, B., Pereira, F., Hazebrouck, B., Hennebert, P., & Lucion, C. (2011) - The GeDSeT Project (Gestion Durable des Sédiments Transfrontaliers - Sustainable Management of Trans-boundary Sediments) Focus on Wallonia and the North of France. 7th international SedNet event, 6-9 April 2011, Venice, Italy.

http://www.sednet.org/download/Presentation18-Laboudigue_Agnes.pdf

LIFE (2002) - Projet européen nommé LIFE avec In Vivo, Agence de l'eau Artois Picardie, Pôle de Compétence des sites et sols pollués. Source : Agence de l'eau Artois Picardie – <http://www.eau-artois-picardie.fr>

Linkov I., Satterstrom F. K., Kiker G., Seager T. P., Bridges T., Gardner K. H., Rogers S. H., Belluck D. A., Meyer A. (2006) - Multicriteria Decision Analysis: A Comprehensive Decision Approach for Management of Contaminated Sediments. *Risk Analysis*, Vol. 26, No. 1, 2006

Michel P., Wavrer P., Lemièrre B. (2011) - L'outil d'aide à la décision GeDSeT : Comment estimer les bénéfices globaux d'une meilleure gestion ? *Mines et Carrières*, hors série Sédiments pollués, 181, 11-15.

Power, D.J., Sharda, R. (2007) - Model-driven decision support systems: Concepts and research directions. *Decision Support Systems* 43, 1044– 1061.

Steele, K.S., Carmel, Y., Cross, J. & Wilcox, C. (2009) - Uses and misuses of multicriteria decision analysis (MCDA) in environmental decision making. *Risk analysis*, 29 (1). pp. 26-33. (2009)

Villeneuve, J., Michel, P., Wavrer, Ph., Ménard, Y., Lemièrre, B. (2004) - Développement durable: trois villes européennes se penchent sur leurs déchets de demain avec l'outil AWAST. *Environnement & Technique*, n°235, pp 37-40.

VNF (2008) - Guide dragage - Voies navigables de France, www.vnf.fr

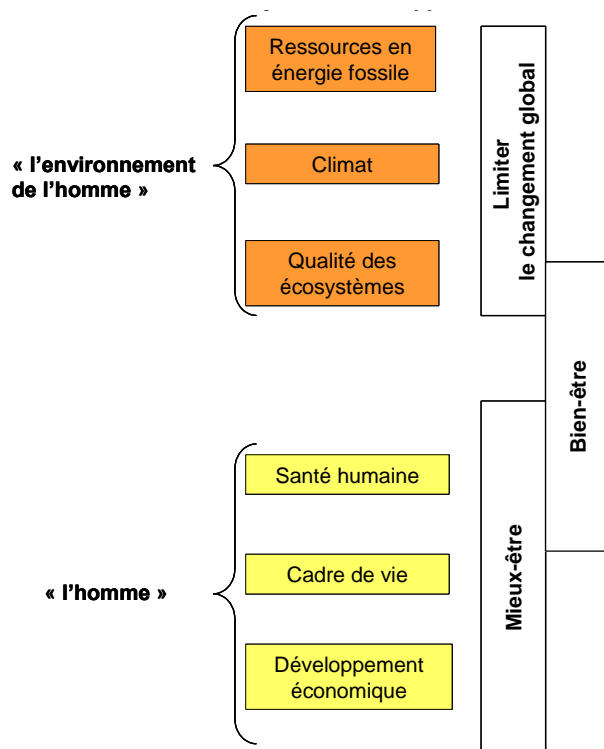


Figure 1: les indicateurs de durabilité retenus

Indicateurs normalisés (en %)

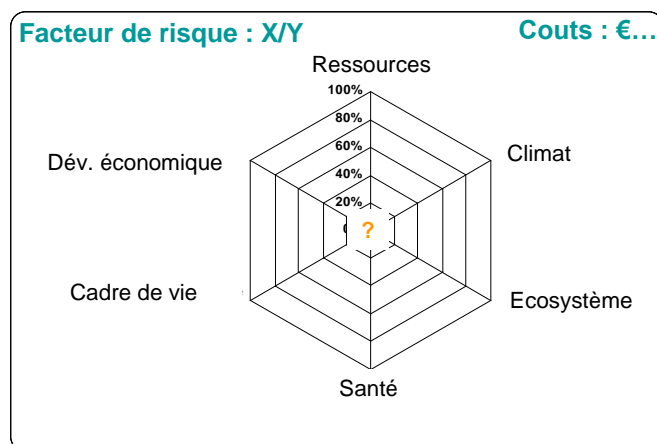


Figure 2: diagramme de présentation des indicateurs de durabilité

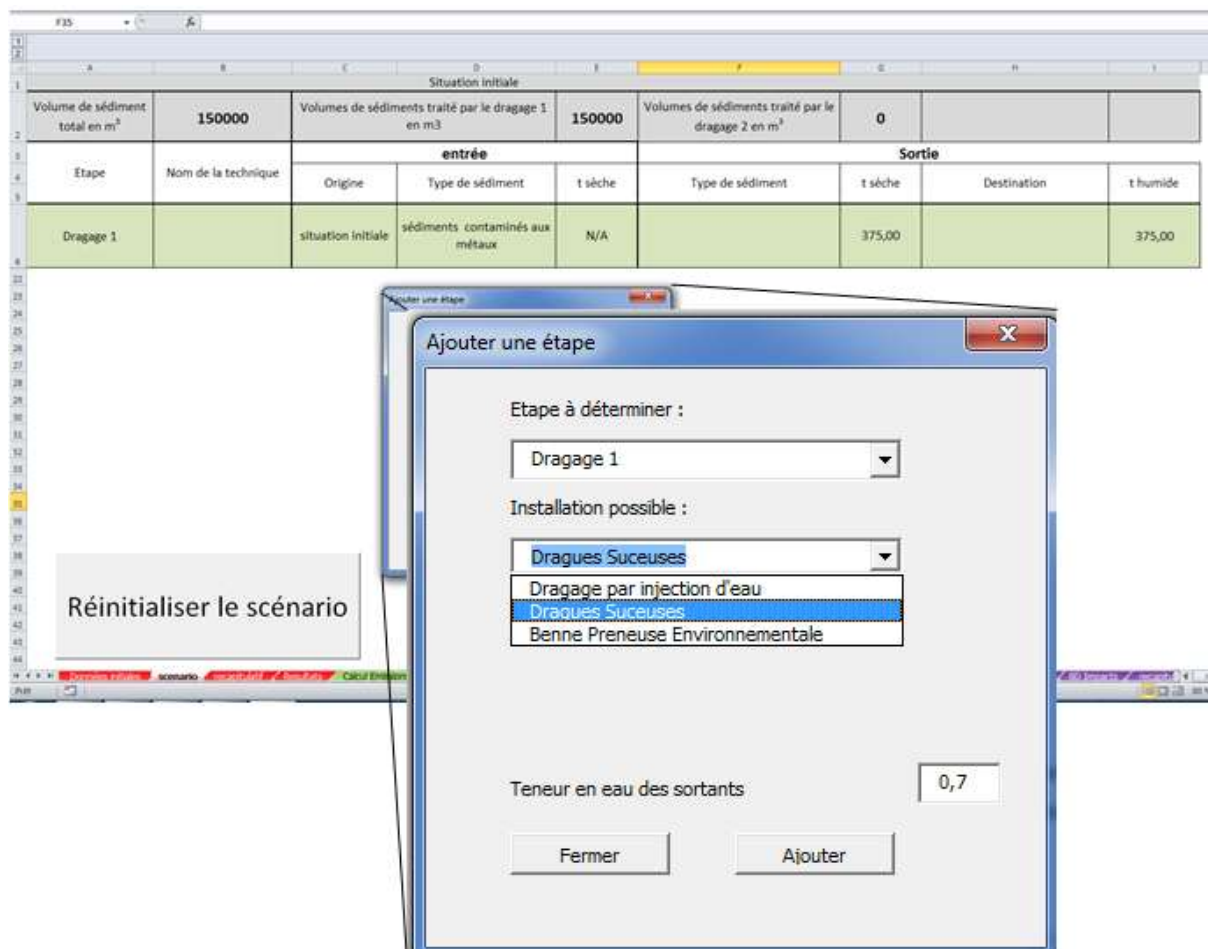


Figure 3: l'outil GeDSeT : saisie des éléments d'un scénario

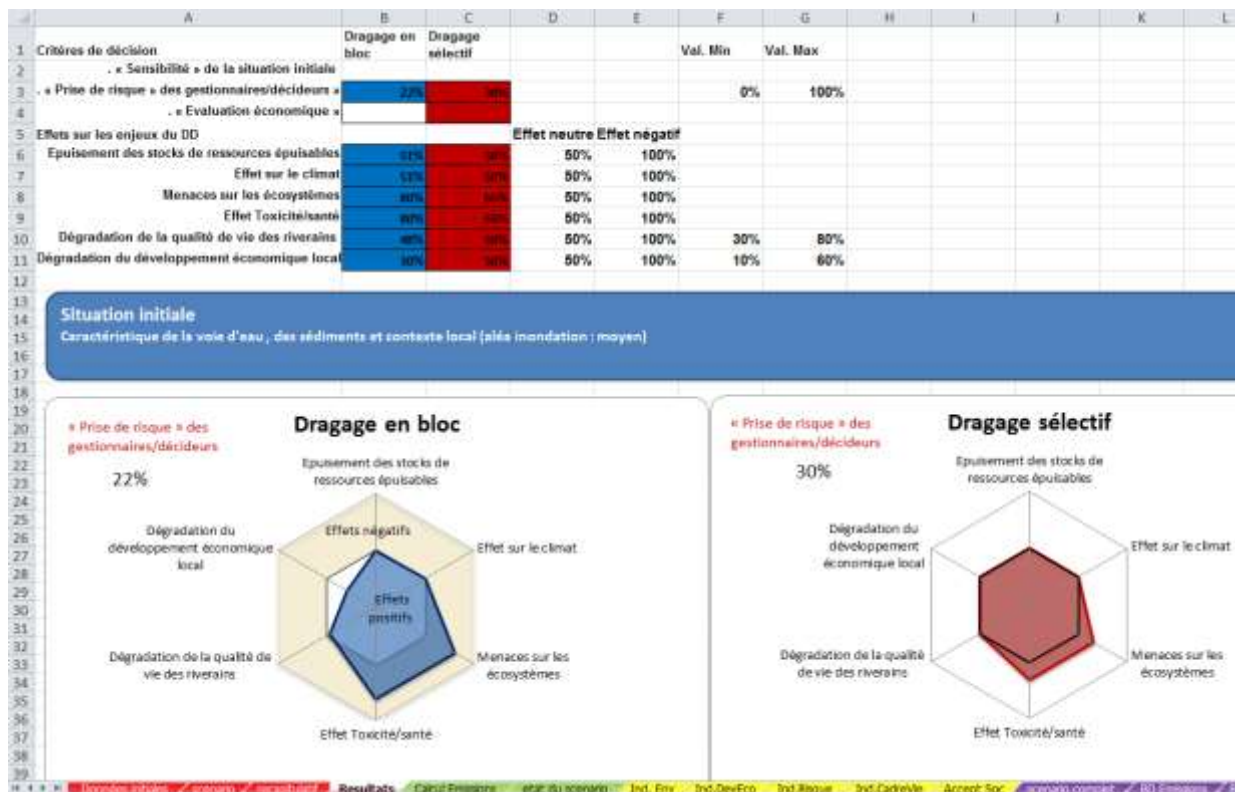


Figure 4: l'outil GeDSeT : calcul et présentation des résultats (exemple fictif)



Figure 5: Curage non sélectif et mise en dépôt, Canal de Lens, 2010